Resumen Ejecutivo

Introducción

Basados en una serie de exámenes que usan aparatos de prueba de frenos que se basan en el desempeño PBBT (por su sigla en inglés), en este reporte se presentan los resultados, conclusiones y recomendaciones con respecto a la conveniencia de usar los PBBT para hacer que los vehículos comerciales que se van a poner en servicio cumplan con las regulaciones sobre el funcionamiento de frenos.

Un PBBT es un recurso que evalúa la capacidad de frenar de un vehículo en su condición actual. Mide la fuerza individual del freno y el total desempeño del frenado del vehículo o ambos. Un PBBT beneficia tanto a la comunidad encargada del cumplimiento de la ley como a los transportistas, porque puede proveer de consistencia a una medición objetiva del funcionamiento de los frenos de un vehículo. Hace esto sin importar el tipo de freno (disco o tambor), el tipo de suministro de energía (aire, hidráulico, eléctrico o resorte) o el método de aplicación (s-cam, cuña, pistón, resorte, palanca y cable)

Varios PBBT fueron evaluados durante una serie de exámenes del sistema round robin¹ con el fin de evaluar su desempeño funcional y su potencial para ser usados en el cumplimiento de la ley. Además, se investigaron factores que influyeron en la relación que hay entre el desempeño del vehículo para detenerse en la carretera y aquel pronosticado por la PBBT. Los exámenes se llevaron a cabo en julio de 1998 en el Centro de Investigación y Exámenes para Vehículos (VRTC) de la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico por Carretera (NHTSA), el Departamento de Transporte de EE.UU. (U. S. DOT). El proyecto fue patrocinado por U.S. DOT, Oficina de Autotransportes (OMC), ahora conocida como la Administración Federal de Seguridad de Autotransportes (FMCSA).

El termino "round-robin" describe una serie de exámenes en los cuales se usa un solo 'estándar' para evaluar la consistencia de varios aparatos de prueba. En el 'round-robin' que se presenta en este reporte, el "estándar", una configuración específica de fuerza de frenado y carga sobre rueda en un vehículo de peso pesado fue utilizado con el fin de evaluar los candidatos PBBT y sus protocolos de operación.

vii

Antecedentes

Las especificaciones para el desempeño funcional de los PBBT han sido desarrolladas y publicadas para comentarios en el Registro Federal².

Para sistemas de freno, los actuales requerimientos de seguridad para vehículos comerciales están basados en los resultados de una inspección visual diseñada para identificar componentes defectuosos. Esta técnica no puede dar una medida real del actual desempeño de los frenos. Se están considerando nuevas regulaciones basadas en el desempeño con el fin de permitir el uso de los resultados obtenidos con los PBBT para hacer cumplir las regulaciones. Un vehículo puede ponerse Fuera de Servicio (OOS por su sigla en inglés) si se encuentra que tiene una capacidad de frenado inadecuada o se puede dar una citación si se encuentra que un freno está funcionando indebidamente.

Para usar las regulaciones basadas en el desempeño es importante que los frenos individuales del vehículo o la capacidad total del frenado puedan ser evaluados con exactitud por un PBBT y consistentemente con distintos PBBT. El propósito de la prueba 'round-robin' fue el de evaluar la habilidad de la actual generación de los PBBT para medir la fuerza de los frenos (BF) y la carga

sobre la rueda (WL) de manera acertada y consistente y para verificar que estas medidas se pudieran usar como alternativa para las pruebas de frenar a distancia o para las pruebas de desaceleración en la carretera.

Bosquejo General del Plan de Pruebas

Tres tipos de vehículos comerciales con dos diferentes configuraciones de frenado y carga fueron instrumentados para la prueba round-robin: una combinación de un tractor de tres ejes, un camión con caja tipo rastra (semi-remolque) de dos ejes (3-S2) y un camión de dos ejes. Cada vehículo fue examinado completamente cargado y descargado. A ambos vehículos se les acondicionó con una baja fuerza de frenado en relación con la carga por rueda (BF/WL) en las ruedas seleccionadas, manteniendo la capacidad de frenado del vehículo consistente con las normas mencionadas en el “Desarrollo de Especificaciones Funcionales para Aparatos para Prueba Basados en el Desempeño de los Frenos Utilizados para Inspeccionar Vehículos Comerciales” FHWA-1998-3611-1, Registro Federal, Vol. 63, No. 108 (junio 1998). Regulaciones basadas en el desempeño que están bajo consideración por la OMCS³ (ejemplo: la proporción de la fuerza de frenado total al peso bruto del vehículo (BFTOT/GVW) = 0.4).

viii

Los ocho PBBT que se probaron incluían tres de rodillo dinamómetro portátil (RD), dos RD fijos en tierra (in ground), dos aparatos de prueba de placa plana (FP) y un aparato de prueba de torsión al partir a la deriva (PTT) El programa de prueba tenía dos partes. En la primera parte del programa de prueba se hicieron las siguientes evaluaciones en vehículos con frenos desgastados:

1) La precisión y la aplicabilidad de las medidas de BF: Para precisión, la BF por rueda medida por el PBBT fue comparada con la BF medida usando una rueda calibrada para torsión. Para la aplicabilidad, el total de la BF (BFTOT) medida por el PBBT fue comparada con las BF calculadas a 32.2 km/hr. (20 mph) en paradas en la carretera.

2) La precisión y aplicabilidad de las medidas WL: Para la precisión, juegos de bloques de concreto de peso conocido fueron colocados en los mecanismos de peso de PBBT y los resultados de PBBT fueron comparados con el peso conocido. Para la aplicabilidad, los ejes de carga medidos por PBBT fueron comparados a los ejes de carga obtenidos usando escalas certificadas portátiles o fijas en tierra.

3) La aplicabilidad de la desaceleración equivalente prevista al usar medidas de PBBT ($decel_{EQ} = BFTOT/GVW$) para el vehículo: Los resultados de PBBT fueron comparados a la desaceleración alcanzada durante paradas por carretera a 32.2 km/hr (20 mph).

4) La reproducción de las medidas de PBBT (BF, WL y $decel_{EQ}$): Se compararon los resultados de PBBT de tres réplicas.

En la segunda parte del programa de prueba las fuerzas de frenado del camión de dos ejes fueron restauradas a sus valores ajustados completos y se cambió el peso del vehículo. Las fuerzas de frenado fueron suficientes para bloquear las ruedas en una parada ocasionada por constantes frenadas o por pánico. Las siguientes evaluaciones se llevaron a cabo en el vehículo de 2 ejes 1 con uso frecuente del freno:

La aplicabilidad de la desaceleración equivalente ($decel_{EQ}$): La desaceleración equivalente prevista usando las medidas de PBBT se comparó con la desaceleración obtenida durante las paradas en carretera a 32.2 km/hr (20 mph)

S. J. Shaffer y P. A. Gaydos, "Desarrollo, Evaluación y Aplicación de Tecnologías de Aparatos de prueba de Frenos Basados en el Desempeño", FHWA/MC-98/048 (abril 1998). El resumen ejecutivo se puede obtener en: http://www.itsdocs.fhwa.dot.gov/jpodocs/repts_te/8mn01!.pdf

ix

2) La réplica de las medidas de BF: S

Se compararon tres replicas de los BF reportados por PBBT. 3) Fue evaluado el efecto de superficies húmedas en las BS reportadas por PBBT comparando las máximas BF reportadas bajo condiciones mojadas y secas.

Resultados

Parte I: Vehículos con Frenos Desgastados

Fuerzas de Frenado –Precisión y Aplicabilidad de resultados de PBBT versus Referencia de BF.

Las fuerzas de frenado por rueda reportadas por las PBBT se compararon con las fuerzas de frenado que se midieron usando una rueda calibrada para torsión. Los datos sobre la torsión de la rueda se redujeron a un solo valor usando tres métodos distintos. Usando los métodos que eran más similares se encontró un acuerdo dentro del 2.5 por ciento de la exactitud requerida en las especificaciones de desempeño para todos los RD y los BTT. Sin embargo, para los HEKA FP, las discrepancias en los datos de las BF fueron mucho mayores y parecían estar relacionadas a la adquisición y al manejo de datos dinámicos provenientes de la parada en las chapas. Como tal, se necesitaría demostrar más la exactitud de los HEKA en reportar las BF. Para los Hunter FP, la discrepancia en valores de las BF fueron menos del 10 por ciento y parece que solo se debió a las diferencias entre el algoritmo Hunter usado y el que se usó con los datos de la rueda de torsión. Como posteriormente se encontró que la desaceleración prevista por Hunter concuerda muy bien con la desaceleración en la carretera, se consideró que la diferencia en las BF se podía resolver y no eran una preocupación potencial para la seguridad.

Las BF medidas por los PBBT mostraron diferentes grados de aplicabilidad cuando se compararon con las BF deducidas de las paradas por carretera a 32.2 km/hr (20mph). La prueba Hunter, que se conduce a 16 km/hr (10 mph), pareció ser la más aplicable. Para los RD, su aplicabilidad ha podido ser afectada por la sensibilidad a la velocidad del rendimiento del par de rotación de los frenos. En general, se midieron BF mayores en las pruebas de RD, en las cuales la rueda es girada a menos de 2 km/hr. (1.2 mph) comparado con aquel deducido de la prueba de parada en carreteras a 32.2 km/hr (20 mph).

x

Aunque las desviaciones fueron solamente del orden del 10 por ciento, es posible que se necesite investigación adicional sobre el desarrollo de un factor a escala para predecir con exactitud la desaceleración en carretera. El BTT también mostró buena aplicabilidad para la parada en carretera en tres de las cuatro condiciones de los vehículos. Es posible que las BF que se pueden medir mas altas para las ruedas fuertes usando el BTT hayan influido en la aplicabilidad para el vehiculo de dos ejes descargado, en lugar del que está disponible debido a

la tracción con la superficie durante una parada en la carretera. Como tal, en estos casos se requeriría un corte en el tope (similar al uso de factores a escala para los RD) para mejorar la exactitud en predecir el desempeño de parada en la carretera.

Peso del Vehículo – Exactitud y Aplicabilidad de los Resultados de PBBT versus WL. Referencias.

Se encontró que los pesos reportados por el PBBT estaban dentro del requisito de exactitud del 2.5 por ciento durante las pruebas de calibración usando bloques de concreto de peso conocido.

El reporte de cargas en el eje de vehículos indicó que las cargas obtenidas durante la prueba de frenos no eran siempre representativas de aquellas del vehículo que está en superficie. Como tal, para algunos PBBT, la aplicabilidad de las medidas de peso necesitará más consideración para uso en el cumplimiento de las regulaciones. El reporte de los PBBT sobre el peso del vehículo (el total de cargas en el eje) concordaba con los valores de referencia para 4 de los 8 PBBT para el camión de dos ejes en condiciones de cargue y descargue. Para el 3-S2, el total para solo 2 de los 8 PBBT (el Hunter y el RAI RD en tierra) en ambas condiciones de carga. Para el HEKA, FP, RD y el BTT, las diferencias en las medidas de cargas en el eje se debieron a transferencia de cargas entre los ejes cuando el vehículo estaba siendo frenado en posición en el PBBT. Esta transferencia de carga fue muy significativa con las características particulares del vehículo 3S2 (p.ej. suspensión de 4 amortiguadores y ejes en serie (en tándem). Estos efectos fueron también más visibles en los PBBT portátiles debido a las plataformas elevadas de la prueba. Se puede esperar una mejoría con la implementación de diferentes configuraciones de la rampa para estos PBBT portátiles. De las pruebas de carga del eje se concluyó que se necesitarán algunas consideraciones o procedimientos especiales de prueba para algunos vehículos.

Desaceleraciones Equivalentes – Comparaciones entre los resultados de PBBT con la Desaceleración del Vehículo.

Usando la desaceleración equivalente (BFTOT/WLTOT o BFTOT/GVW) como la medida, 6 de los 8 PBBT predijeron acertadamente la capacidad del vehículo para detener el vehículo de eje trasero cargado o sin carga. Por la carga 3-S2 de 8 PBBT se predijo acertadamente la capacidad de frenar del vehículo. Las medidas de la fuerza de los frenos fueron exactas. Las predicciones inexactas de la desaceleración provinieron principalmente de medidas de peso, como algunos de los PBBT reportaron cargas de ejes altas. Otros factores incluyeron el coeficiente de fricción (COF) entre la prueba de superficie y la llanta siendo diferente del COF entre la carretera y la llanta o la terminación temprana de la prueba por el mecanismo de control del PBBT o la computadora. Las recomendaciones para la corrección se hicieron en el tiempo del round-robin y estas atendidas por los fabricantes del PBBT cuando se hizo este reporte. El trabajo futuro se enfocará en la resolución de estos problemas.

Capacidad de Repetición

La habilidad de los PBBT para evaluar el desempeño general del vehículo al parar, dentro de un rango aceptable de capacidad de repetición (ARR por su sigla en inglés) fue muy buena. Aproximadamente el 93 por ciento de todas las medidas, incluyendo BF y WL, estuvieron dentro del ARR.

Parte II: Vehículos con Frenos Fuertes, Ajustados Completamente

Se evaluó la habilidad de los PBBT para medir la capacidad total de los frenos

de un vehículo con frenos fuertes. La tracción que existe entre las llantas y la superficie

de prueba (o la carretera) limita el BF máximo alcanzado por el vehículo, ya sea durante una prueba de PBBT o durante una prueba de parada en la carretera. Como tales variaciones se reportaron entre los PBBT en estas pruebas, fueron principalmente una reflexión de las diferentes pruebas de superficies usadas. Los PBBT con tracción más alta entre la superficie de prueba y la llanta que entre la carretera y la llanta tendieron a mostrar un desaceleramiento más alto que el que se midió durante una parada en carretera y viceversa. NO existe una preocupación de seguridad previendo que las diferencias en tracción se pueden documentar y se puede contar con ellas. A continuación se hace un resumen de los resultados de la Parte II.

xii

- La mayoría de los PBBT predijeron por lo menos la desaceleración en carretera, la cual fue aproximadamente $0.6g^4$ para el vehículo que se probó.
- Los FP mostraron variabilidad más alta al probar el vehículo con frenos fuertes que la de los vehículos con frenos ligeros suaves). Esto fue probablemente debido a la variabilidad en el desempeño del chofer y la posible patinada de la llanta.
- El VIS RD midió bajos BF comparados otros PBBT, aparentemente como resultado de ya sea terminación prematura de la prueba o a una tracción baja de la superficie del rodillo.
- Los resultados del BTT no se afectaron ni por las condiciones de carga del vehículo ni por la presencia de agua en la superficie de la prueba
- Para el VIS y los HEI RD estándar, la presencia de agua en la prueba de la superficie redujo la tracción entre las llantas y los rodillos y afectó notablemente las medidas de BF.

Conclusiones

La round-robin fue la primera en su clase y constituye un avance significativo en el programa de la FMCSA para permitir el uso de los PBBT como una herramienta para el cumplimiento de la ley.

- Bajo las condiciones de la mayoría de las pruebas, la exactitud y repetibilidad de la mayoría de los PBBT participando, sin tener en cuenta el principio de la operación, fue aceptable para cumplir las especificaciones funcionales y por lo tanto para usarse en el cumplimiento de la ley.
- El Hunter FP y el RAI, RD en tierra (in ground) mostró el potencial más inmediato para usarse para el cumplimiento de la ley en vehículos con frenos desgastados (largos,) basándose en los resultados de repetibilidad y exactitud cuando se comparan con la medida de las desaceleraciones de los vehículos en una parada en carretera de 32.2 km/hr 920 mph).
- Donde se necesiten, factores o modificaciones para obtener aceptable desempeño del PBBT con el fin de usarse para el cumplimiento de las regulaciones se dividió en dos categorías:

1) Las modificaciones consistentes con las especificaciones funcionales del PBBT que han sido desarrolladas para elegibilidad de financiamiento por parte de la Seguridad de los Autotransportes.

⁴“g” representa la aceleración causada por la gravedad. ⁵ Se debe de observar que Hunter considera inválida una prueba en la cual el vehículo está patinando.

Programa de Asistencia (MCSAP).

2) Modificaciones de procedimiento para mejorar la aplicabilidad del PBBT en los resultados de frenadas en carretera.

- Se encontró que las medidas de peso son afectadas por características específicas de los vehículos o por la elevación y configuraciones de las rampas de los PBBT portátiles.
- Se deberá dar consideración a un criterio adicional para juzgar la efectividad de los frenos en los casos en que sería imposible medir en una manera representativa debido a la configuración del vehículo. Por ejemplo, cuando ocurre que se atranca una llanta, si la tracción entre la llanta y la superficie de prueba es por lo menos igual a 0.6 (como se requiere en las especificaciones funcionales del PBBT), la capacidad de frenada de la llanta se consideraría adecuada, sin tomar en cuenta las medidas de peso. Cuando los frenos están muy desgastados o débiles para atrancar las llantas, las medidas de peso son críticas y se requerirán procedimientos o criterio alternativos.

Los PBBT-medidos BF estuvieron muy de acuerdo con el Fs medidos con el esfuerzo de torción de la llanta. Se atribuyeron las desviaciones a una de dos causas: ¡ El algoritmo usado por los fabricantes de los PBBT para adquirir y manipular los datos crudos y ¡ en el caso del probador de los platos planos, el efecto de cargamento dinámico.

- El rodillo dinamómetro, como una clase, reportó ligeramente más alto los BF para los vehículos de frenos desgastados o débiles en pavimento seco que los valores de la referencia correspondiente se derivaron en paradas o frenadas en carreteras. Se sospechó que esto era un resultado ya sea por la geometría del contacto del remiendo del rodillo de la llanta o cambios en los esfuerzos de torción externos de los frenos como una función de la velocidad: los RD portables operan a menos de 2 km/hr (1.2 mph), las frenadas en carretera se desempeñaron a 32.2 km/hr (20 mph). Se requieren datos adicionales en esta área.

Finalmente se hicieron las siguientes recomendaciones para ayudarles a cumplir con las especificaciones funcionales: ¡Alterar la superficie de prueba para cumplir con los mínimos requerimientos de COF. ¡Estandarizar protocolos de las pruebas, incluyendo el análisis de los datos y los procedimientos de los reportes; Y desarrollar procedimientos de calibración apropiada.

- Algunos PBBT mostraron que sus resultados de BF no se afectaron por la condición de la superficie de prueba. Aunque en condiciones de mojado el COF no es parte de las especificaciones funcionales de PBBT propuestas por ahora, los PBBT por los cuales se afectaron las medidas de los BF por las condiciones de la superficie de prueba deben enfocar y resolver este problema.

Retos pendientes

Los retos pendientes para el uso de los PBBT en el cumplimiento de la ley incluyen:

- Establecer terminación apropiada de la prueba, reducción de los datos y los algoritmos del reporte para los PBBT de tal forma que resultados consistentes se obtengan de máquina a máquina para un vehículo dado.
- Desarrollar procedimientos estándar de prueba o para cada tipo de PBBT.
- Desarrollar requerimientos de entrenamiento para que los inspectores usen PBBT para el cumplimiento de los requerimientos, incluyendo protocolos de calibración y operación.
- Establecer una lista de consideraciones especiales para las configuraciones de ciertos vehículos (p. ej., carga aguda o limitaciones de aplicabilidad de medidas de BF). Cuando aplica, se deben implementar procedimientos modificados para la prueba.
- Desarrollar regulaciones para la evaluación individual pasa/falla de un freno que sean independientes de WL, cuando las medidas de WL que no están disponibles o están alteradas significativamente por la configuración del vehículo.
- Establecer una norma o procedimiento para se cumplan las pruebas, incluyendo la documentación de requerimientos de calibración necesarios para cumplir con retos legales potenciales.
- Caracterizando y entendiendo la sensibilidad a la velocidad de la fuerza del freno, la prueba estática contra la prueba dinámica, la geometría del contacto de la llanta o las limitaciones de COF cuando se necesitan para establecer la correlación entre las medidas de los PBBT y parada o frenada a una velocidad de 32.2 km/hr (20 mph).

Para un entendimiento fundamental de la relación entre la prueba de PBBT y el desempeño del vehículo en carretera se encuentran los retos siguientes: